DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA CUANTITATIVA PARA LA PREDICCIÓN DEL DESEMPEÑO DE GRUPOS DE TRABAJO EN LA EJECUCIÓN DE PROCESOS

Ing. Luz Melba González Beltrán, M.Sc.

RESUMEN

La predicción del desempeño es una de las herramientas existentes para determinar con un cierto nivel de certidumbre el rendimiento futuro de los procesos bajo la influencia de determinados factores, como la calidad del equipo de trabajo y el ambiente laboral. En particular, los trabajos relacionados con esta temática han adaptado modelos de comportamiento y desempeño de equipos, haciendo especial énfasis en el empleo de técnicas de evaluación y medición reconocidas, tales como HEART (Human Error Assessment and Reduction Techniques) y CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method). Otros trabajos se han centrado en el análisis de factores individuales, habilidades de trabajo en equipo, integridad y efectividad de los canales de comunicación existentes en un equipo de trabajo. El uso combinado de técnicas y conceptos ha dado lugar al diseño de modelos de predicción, que han tenido difusión en el ámbito internacional, mientras que en Latinoamérica y en Colombia son escasos o inexistentes los estudios enfocados en el diseño de una herramienta cuantitativa que permita pronosticar el desempeño a corto, mediano y largo plazo de un grupo de trabajo en particular, sujeto a una serie de factores que condicionan el logro de las metas y objetivos en una organización. En virtud de este hecho, la presente investigación tiene por objetivo diseñar una herramienta cuantitativa que permita predecir el desempeño de un equipo de trabajo en función de los factores individuales y las condiciones propias del ambiente laboral, integrando conocimientos de áreas tan importantes como Ergonomía Industrial, Diseño de Experimentos, Optimización, Teoría de la Decisión, Simulación y Procesos Estocásticos. Este estudio se centrará en la utilización de métodos propios de la Ingeniería Industrial para la modelación y diseño de una herramienta de alta confiabilidad y precisión orientada a predecir y mejorar el desempeño de equipos de trabajo.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El desempeño de equipos de trabajo en la ejecución de un proceso es uno de los elementos clave en el funcionamiento de las organizaciones (Rico y colegas, 2008). Los equipos aportan la diversidad en conocimientos, actitudes, habilidades y experiencias cuya integración permite ofrecer respuestas rápidas, flexibles e innovadoras a los problemas y retos planteados (Rico y colegas, 2008). De igual manera, los equipos de trabajo son considerados fundamentales en la administración de operaciones para producir bienes y servicios (Yee y colegas, 2010) y son el principio clave en el marco de las prácticas de administración de operaciones, como por ejemplo la administración de la calidad total (Yeung y colegas, 2005), la implementación de sistemas de manufactura esbelta (Sánchez y Pérez, 2011), el esquema justo a tiempo (Fullerton y McWatters, 2001), la manufactura celular (Fraser y colegas, 2007) y la provisión de servicios acordes con las necesidades de los clientes (De Jong y colegas, 2005).

Algunos investigadores argumentan que los diferentes tipos de equipo en las organizaciones se caracterizan por poseer numerosos atributos. En virtud de estas diferencias, los administradores de factores humanos suelen emplear diferentes enfoques al manejar diversidad de equipos de trabajo (Colbert y colegas, 2008; Scott-Young y Samson, 2008), de los cuales da cuenta la literatura científica (Agrawal, 2012; Rutti y colegas, 2012; Ibrahim y colegas, 2012; Santos y colegas, 2013; Cruz-Ortiz y colegas, 2013; Jaca y colegas, 2013; Bhat y colegas, 2012). Sin embargo, los estudios relacionados con la administración de personal en términos operacionales han sido escasos, resaltando muy especialmente el aporte de Bendoly y colegas (2010), en el cual se hace referencia a la dinámica de grupo como uno de los principales determinantes en la generación de conocimiento en torno al comportamiento y desempeño de procesos (Lee y colegas, 2013).

Igualmente, Loch y Wu (2008) sugieren que ciertos conceptos, como las habilidades de las personas y las relaciones entre grupos son los ejes centrales de la administración del rendimiento en operaciones y procesos (Lee y colegas, 2013). En consecuencia, el enfoque con respecto a cómo debe realizarse un trabajo en las organizaciones ha ido del ámbito individual al ámbito grupal (Devine y colegas, 1999), siendo la eficacia y potencia de equipo los principales determinantes del desempeño de todo un equipo de trabajo (Gully y colegas, 2002). El nivel de

confianza derivado de los altos niveles de eficacia y potencia conlleva una mayor capacidad para enfrentar circunstancias hostiles en el entorno empresarial (Gully y colegas, 2002). Aunque suelen asociarse estos conceptos al campo de la administración de equipos operacionales, la medición de desempeño de grupos de trabajo ha sido abordado de forma superficial en la literatura científica, y en la actualidad no existen estudios empíricos que profundicen en los atributos de equipos multinivel en la organización (Lee y colegas, 2013). Asimismo, los efectos de los atributos negativos de un grupo de trabajo no se han examinado suficientemente, motivo por el cual Lee y colegas (2013) investigaron empíricamente los atributos de un equipo de trabajo y sus implicaciones en el rendimiento entre los equipos de servicios operativos (Lee y colegas, 2013). Este aporte permitió formalizar y estandarizar un conjunto de atributos en el contexto organizacional, aunque la recolección de datos tuvo lugar a través de una encuesta transversal, lo cual fue una limitante al momento de establecer relaciones de causa-efecto entre las diferentes variables involucradas (Lee y colegas, 2013). De igual manera, en este estudio sólo fueron considerados algunos atributos grupales, motivo por el cual el impacto de factores como el aprendizaje y la innovación no fue tenido en cuenta en los resultados finales (Lee y colegas, 2013). Finalmente, dichos resultados estuvieron sustentados en gran medida en las percepciones de quienes participaron en la investigación, lo cual incidió en la confiabilidad de este estudio (Lee y colegas, 2013).

Otro aspecto importante asociado al desempeño de equipos de trabajo es el logro de elevados niveles de eficiencia (De Dreu y Weingart, 2003). En lo que respecta a este particular, uno de los desafíos más importantes siempre ha sido el conflicto existente entre las características de un trabajador y las exigencias de cada actividad o proceso (Azadeh y colegas, 2008). En tal sentido, el concepto integral de Salud, Seguridad, Ambiente y Ergonomía (HSEE, por sus siglas en ingles) tiene su principal aplicación en el diseño de sistemas de trabajo, lo cual implica lograr un equilibrio entre las características del trabajador y las demandas propias de cada proceso (Azadeh y colegas, 2008). Un significativo número de estudios han demostrado los efectos positivos de la aplicación de los principios ergonómicos en el lugar de trabajo mediante la generación de datos y directrices para el diseño de aplicaciones industriales (Azadeh y colegas, 2008). La consecuencia directa de la aplicación de estas directrices ha sido la adopción de un estilo de vida seguro y la optimización de la relación entre hombre y máquina para el logro de la mayor eficiencia (Azadeh y colegas, 2008). Bajo este principio, las aplicaciones ergonómicas han ganado significativo impulso en países

desarrollados, enfocándose cada vez más en el adecuado manejo de la incertidumbre asociada a eventos inesperados en un sistema (Azadeh y colegas, 2008). Algunas de las herramientas diseñadas bajo este enfoque han incluido aplicaciones para evaluación de tareas (EIAS, por sus siglas en inglés), investigación de problemas (PWSI, por sus siglas en inglés) y manipulación de materiales (DJAS, por sus siglas en inglés) (Azadeh y colegas, 2008). Por su parte, Coakes y colegas (2007) han realizado un importante aporte en relación con la creación de un sistema experto para diseño ergonómico de tareas (ALFIE, por sus siglas en inglés), más enfocado en aspectos físicos que en aspectos cognitivos y comportamentales (Azadeh y colegas, 2008).

Desde el punto de vista de seguridad, los programas HSEE usualmente resultan muy útiles en la reducción de lesiones en el lugar de trabajo, prevención de problemas de salud y minimización de efectos severos en el ambiente (Azadeh y colegas, 2013). Al respecto, se conocen múltiples trabajos enfocados en la implementación de controles internos, la puesta en marcha de acciones para la optimización de la relación entre ergonomía y factores tales como las condiciones de trabajo, la implementación de normas de gestión de calidad, mejoramiento continuo y el diseño de modelos macroergonómicos integrados (Azadeh y colegas, 2013). Entre tanto, otros trabajos se han enfocado en el desarrollo de algoritmos y métodos avanzados de pronóstico y predicción de carga asociada al trabajo en sistemas complejos (Azadeh, 2013). Un claro ejemplo de aplicación de métodos avanzados es el estudio desarrollado por Azadeh y colegas (2013), el cual dio como resultado el diseño de un algoritmo flexible y adaptativo que permite predecir la carga de trabajo asociada a un proceso o actividad. Este algoritmo está sustentado en el diseño de un sistema inteligente que combina redes neuronales y lógica difusa, con resultados superiores en términos de confiabilidad frente a otras técnicas, (Azadeh y colegas, 2013) en virtud de su elevada capacidad para representar de manera fidedigna la complejidad de procesos altamente no lineales y la incorporación de conceptos imprecisos o subjetivos.

Por otra parte, la adopción de programas de entrenamiento en ergonomía es una medida muy valorada en el entorno empresarial para la implementación de medidas orientadas a la reducción de lesiones y accidentes en el ambiente de trabajo (Querelle y colegas, 2012; Yuan, 2012; Korunka y colegas, 2010). Estos programas no sólo están enfocados en educar, sino también en involucrar al personal en la identificación, análisis y resolución de problemas ergonómicos (King y colegas, 1997). En tal sentido, Korunka y colegas (2010) identificaron los principales factores que afectan la

calidad de los resultados en los programas de entrenamiento en ergonomía, entre ellos el contenido de dichos programas, el ambiente de trabajo y las características personales de los entrenadores (Korunka y colegas, 2010). Aunque dicho estudio ofrece un análisis significativo en torno a estos factores, el diseño de la investigación fue de tipo transversal, por lo cual su potencial fue limitado al momento de establecer relaciones de causalidad entre las variables involucradas (Korunga y colegas, 2010). Adicionalmente, algunos de los constructos en los que se basa el estudio tienen una baja confiabilidad, mientras que el diseño metodológico aplicado permitió realizar una adecuada evaluación de las condiciones de éxito de un programa de intervención orientado a la prevención de riesgos ergonómicos (Korunga y colegas, 2010).

Por último, las auditorías de seguridad en los sistemas de trabajo se constituyen en un importante método para medir el efecto de potenciales errores existentes en el sistema antes de manifestarse sus consecuencias en el entorno de trabajo (Hsiao y colegas, 2013). En particular, es reconocido el gran valor de las herramientas de auditoría que son validadas frente al desempeño real del sistema (Hsiao y colegas, 2013); en la práctica, no es frecuente que dichas herramientas sean validadas en relación con su capacidad para predecir el comportamiento futuro de un sistema de trabajo en materia de seguridad (Hsiao y colegas, 2013). Asimismo, el concepto de error humano no es considerado y adoptado en los sistemas de auditoría (Hsiao y colegas, 2013), mientras que cada vez es más relevante el análisis y predicción de errores humanos en la valoración de la seguridad de los sistemas productivos, bajo la influencia de un marco integral que permita analizar e involucrar las influencias organizacionales, las condiciones asociadas a actos inseguros, la supervisión insegura de los procesos y violaciones a las reglas que rigen los procesos (Hsiao y colegas, 2013).

En términos generales, un factor atribuible al desempeño y al error humano lo constituyen los rasgos de personalidad observables en un equipo de trabajo (Bradley y colegas, 2013). Los efectos de tales rasgos en el rendimiento de los procesos han sido cuidadosamente estudiados, considerando principalmente el conflicto entre tareas como factor que puede contribuir a mejorar el rendimiento en un equipo de trabajo con altos niveles de apertura (Bradley y colegas, 2013). De modo particular, los estudios publicados hasta el año 2013 se han enfocado en las características propias de las tareas involucradas y los atributos individuales y grupales de un equipo de trabajo (Bradley y colegas, 2013). Es de esta manera como Bradley y colegas (2013) han enfatizado en el

papel del conflicto entre tareas en el desempeño de grupos de trabajo y sus implicaciones desde el punto vista teórico y práctico. En un estudio publicado por estos autores se comprobó esta hipótesis, empleando datos obtenidos de 117 grupos de trabajo en tres horizontes de tiempo, demostrando cómo la composición de un equipo puede afectar la relación entre los conflictos de tareas y el desempeño de grupo (Bradley y colegas, 2013). Sin embargo, la investigación no abordó las relaciones de causalidad entre los efectos de moderación y los resultados finales. Adicionalmente, el estudio sólo exploró los cinco factores de personalidad reconocidos en la literatura científica, motivo por el cual los autores recomiendan incluir factores adicionales que tengan efectos potenciales en el desempeño de grupo.

En el estudio de dichos factores es usual el empleo de métodos ergonómicos, los cuales pueden clasificarse como métodos analíticos y métodos evaluativos. Los métodos analíticos se enfocan en la comprensión de los mecanismos y procesos propios de un sistema de trabajo, mientras que los métodos evaluativos conciernen a la medición de parámetros específicos en el sistema (Phipps y colegas, 2011). En tal sentido, la clasificación propuesta por Annett (2002) hace especial énfasis en la modelación de actividades asociadas a la realización de una tarea, lo cual es catalogado como una característica propia de las técnicas analíticas (Phipps y colegas, 2011). Esto implica que el valor de herramientas tan importantes como el Análisis Jerárquico de Tareas (AHT, por sus siglas en inglés) se entiende mejor en términos de su capacidad para proporcionar información útil sobre el objeto de interés en lugar de su conformidad con los estándares psicométricos de fiabilidad y validez (Phipps y colegas, 2011). Los métodos evaluativos, por su parte, están sujetos a criterios psicométricos, lo cual va en contravía de la esencia propia del análisis de tareas en términos de alta validez predictiva y baja confiabilidad (Phipps y colegas, 2011). Ante esta perspectiva, resulta posible evaluar una tarea en términos de consistencia y precisión para determinar la verdadera naturaleza del sistema de trabajo o en términos de capacidad para develar información cualitativa confiable en relación con dicho sistema (Phipps y colegas, 2011). Una muestra de ello es el estudio realizado por Phipps y colegas (2011), en el cual se evaluó empíricamente un sistema de trabajo bajo el enfoque analítico y evaluativo, llegando a la conclusión que los métodos empleados tienen una mayor utilidad en la estructuración del análisis acerca de una tarea que en los procesos de asignación de tareas a categorías específicas (Phipps y colegas, 2011). Adicionalmente, Phipps y colegas (2011) han sugerido que las futuras investigaciones en este campo se centren en la

identificación y análisis de factores que influyen en la confiabilidad de los métodos empleados y el efecto de diversas fuentes de información en los resultados finales (Phipps y colegas, 2011).

Conscientes de este importante efecto, Azadeh y colegas (2008) propusieron la aplicación de técnicas y métodos más realistas para modelar y analizar la influencia de varios factores en el impacto de un sistema HSEE. El trabajo más reciente de estos autores se enfocó en el diseño de un sistema experto cuyo funcionamiento se sustenta en la aplicación de la lógica difusa, con evidentes ventajas en términos de confiabilidad, rapidez y consolidación de conocimientos. El eje central de este sistema fue el diseño de un modelo integrado para la evaluación continua del sistema HSEE y factores ergonómicos (Azadeh y colegas, 2008), lo cual dio como resultado un programa dinámico que garantiza el mejoramiento continuo del sistema. Entre los beneficios derivados del diseño de esta herramienta se reportaron la identificación precisa de los principales factores asociados al desempeño del sistema, la minimización del error humano y la capacidad para interpretar y analizar un gran volumen de datos sin relación aparente (Azadeh y colegas, 2008). Además, mediante el uso de esta herramienta se logró predecir futuras deficiencias y diseñar planes de acción orientados al mejoramiento continuo y a la reducción de costos (Azadeh y colegas, 2008).

Otra de las herramientas más utilizadas para el análisis de desempeño y la minimización del error humano es el Análisis de Confiabilidad Humana (HRA, por sus siglas en inglés), el cual usualmente es complementado por la Evaluación de Riesgo Probabilístico (PRA, por sus siglas en inglés) (Boring y colegas, 2010). Según Podofillini y Dang (2013), HRA contribuye al análisis de fallas humanas en relación con los factores más relevantes y a la cuantificación de las probabilidades de error en la realización de tareas y procesos (Podofillini y Dang, 2013). En condiciones ideales, los modelos empleados son desarrollados y validados mediante el uso de datos empíricos (Podofillini y Dang, 2013); sin embargo, los esfuerzos en materia de recolección y validación de datos sólo se han enfocado en la estimación de las probabilidades de error en la ejecución de tareas (Podofillini y Dang, 2013). En particular, Podofillini y Dang (2013) resaltan la dificultad existente en materia de recolección de datos cuando se aborda un problema asociado a la toma de decisiones o a la realización de diagnósticos de tareas debido a la alta sensibilidad de las diferentes decisiones o tareas frente a una amplia gama de variables (Podofillini y Dang, 2013). En consecuencia, es altamente recomendable el empleo de otras técnicas reconocidas como ATHEANA (A Technique

for Human Error Analysis), CESA (Comission Errors Search and Assessment) y MDTA (Misdiagnosis Tree Analysis), las cuales permiten incorporar el juicio de expertos como elemento decisivo para la modelación y cuantificación de la probabilidad de error (Podofillini y Dang, 2013). También, métodos reconocidos como THERP (Technique for Human Error Rate Prediction), SPAR-H (Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis), HEART (Human Error Assessment and Reduction Techniques) y HRA Calculator han combinado el criterio de expertos con datos empíricos, los cuales permiten obtener probabilidades de error que se constituyen en valores de referencia para la estandarización de tareas y para el respectivo análisis bajo condiciones específicas (Podofillini y Dang, 2013).

No obstante, se impone un nuevo enfoque centrado en la representación de variables cualitativas y cuantitativas y su relación con los factores que en mayor medida influencian el desempeño humano (Podofillini y Dang, 2013). En este sentido, las Redes Bayesianas de Confiabilidad (BBN, por sus siglas en inglés) han representado un avance significativo, centrándose en el establecimiento de relaciones de causalidad entre los factores asociados a las probabilidades de error, la base empírica de los datos, el tratamiento dado a los criterios de expertos, la incorporación rigurosa de datos empíricos y la implementación de modelos teóricos (Podofillini y Dang, 2013). El trabajo presentado por Podofillini y Dang (2013) presenta una aproximación bayesiana para la inclusión de probabilidades de error derivadas de los criterios de expertos (Podofillini y Dang, 2013), con lo cual el modelo desarrollado genera por sí mismo un conjunto de probabilidades de error, eliminando la subjetividad del analista y los posibles sesgos e imprecisiones en las estimaciones finales (Podofillini y Dang, 2013). Este importante atributo, combinado con métodos reconocidos como el Método de Confiabilidad Cognitiva y Análisis del Error (CREAM, por sus siglas en inglés), se ha constituido en una técnica de análisis de segunda generación que permite contextualizar el desempeño humano durante la realización de tareas (Bedford y colegas, 2013), logrando identificar y controlar posibles sesgos y errores.

CREAM, por su parte, ha sido probado y evaluado en términos de confiabilidad, considerando fuentes de variabilidad como las condiciones de desempeño comunes (CPC, por sus siglas en inglés) y la incidencia de fallas en las funciones cognitivas del operario o trabajador (Bedford y colegas, 2013). Estas fuentes de variabilidad son evaluadas a través del uso de cuatro modalidades básicas de control que describen los diferentes niveles de control (control perturbado, control

oportunista, control táctico y control estratégico) que un operador dispone en un contexto determinado (Sun y colegas, 2012) y que determinan las probabilidades de falla en la versión básica del método CREAM (Bedford y colegas, 2013). Adicionalmente, es relacionado el concepto de Probabilidad asociada a Error Humano (HEP, por sus siglas en inglés), el cual es usualmente considerado en Evaluaciones Probabilísticas de Seguridad (PSA, por sus siglas en inglés) de sistemas socio-técnicos (Sun y colegas, 2012). Este concepto es el insumo principal para la aplicación de técnicas como THERP, HEART, SPAR-H y CREAM, mediante la formulación de un modelo matemático que puede involucrar el uso de variables continuas y relaciones de correspondencia entre cada uno de los modos de control y las probabilidades HEP asociadas (Sun y colegas, 2012). Este aporte representa una mayor consistencia y razonabilidad de las estimaciones obtenidas mediante el método CREAM convencional; sin embargo, subsiste cierta subjetividad, incertidumbre e imprecisión en torno a la estimación de las probabilidades asociadas (Sun y colegas, 2012).

No obstante, la naturaleza del método CREAM básico conduce a la obtención de una proyección técnica para la identificación de los procesos que requieren un profundo nivel de análisis (Bedford y colegas, 2013), mientras que el método CREAM extendido permite obtener un perfil de funciones cognitivas a través de la asignación de una actividad cognitiva a cada una de las tareas objeto de análisis (Bedford y colegas, 2013). A partir de estos parámetros, finalmente se obtiene una probabilidad cognitiva asociada a cada tarea incorporando conceptos como la lógica difusa y redes neuronales y bayesianas (Bedford y colegas, 2013). Entre los aspectos presentados en el último estudio realizado por Bedford y colegas (2013) se encuentra el manejo de la variabilidad asociada a la interpretación de las diversas categorías de clasificación de tareas y la consistencia entre el método CREAM básico y extendido (Bedford y colegas, 2013). El principal aporte de este estudio es el diseño de una nueva variación del método CREAM para mejorar su precisión, especialmente en el Análisis de Riesgo (Bedford y colegas, 2013).

Aunque han existido avances para la inclusión de aspectos cognitivos en la modelación de desempeño de procesos, algunos autores reconocen la dificultad para captar los aspectos cognitivos y comportamentales en la realización de una actividad o proceso (Phipps y colegas, 2011). En tal sentido, el Análisis Jerárquico de Tareas (HTA, por sus siglas en inglés) ha sido uno de los métodos más reconocidos para identificar los comportamientos que tienen lugar durante la

realización de una tarea (Phipps y colegas, 2011). En este sentido, Stepperd (2000) recalcó la necesidad de representar las tareas desde una perspectiva cognitiva y comportamental, mientras que Ornerod y Shepherd (2004) argumentaron que el análisis de tareas, independiente del método utilizado, debe capturar los factores humanos (entrenamiento, experiencia y carga de trabajo) y las restricciones operacionales (uso dado al sistema). Con la finalidad de dar respuesta a los interrogantes planteados en torno a las tareas cognitivas y las aplicaciones de diseño, algunos autores han propuesto algunas extensiones al método HTA (Phipps y colegas, 2011), siendo SGT (SubGoal Template Method) la extensión más reconocida para analizar requerimientos y especificaciones en un análisis de tareas (Richardson y colegas, 1998; Phipps y colegas, 2011) y facilitar las actividades de control en procesos complejos. Sin embargo, son pocos los estudios que han empleado a fondo esta técnica (Phipps y colegas, 2011).

En contraste, SRK (Skills – Rules – Knowledge) resulta útil en la evaluación de desempeño humano, empleando un sistema de clasificación multinivel basado en habilidades, reglas y conocimientos en torno a un proceso (Phipps y colegas, 2011). Según los fundamentos de este método, cada uno de los niveles de actividad involucra un esfuerzo cognitivo cada vez mayor, en el cual el usuario del proceso debe apelar a una regla conocida, a procedimientos de emergencia previamente establecidos o participar en la búsqueda de una solución novedosa basada en el conocimiento (Phipps y colegas, 2011; Sun y colegas, 2012). Bajo este enfoque, el modelo SRK ha sido ampliamente aplicado al estudio del desempeño humano y el error asociado a su actuación (Phipps y colegas, 2011). Este es el caso de la variante GEMS (Generic Error Modelling Framework), la cual permite analizar y relacionar los niveles de desempeño con los factores asociados a errores. Una ventaja particular de este método es la posibilidad de cuantificar errores cognitivos; sin embargo, se cuestiona su utilidad para la identificación de alternativas de reparación de este tipo de errores, aunque suministra elementos de juicio para el diseño de interfaces que optimizan el desempeño y la confiabilidad en un área determinada (Phipps y colegas, 2011).

Igualmente, los métodos de Monte Carlo han demostrado eficacia en la determinación de la confiabilidad de sistemas complejos (Rajabalinejad, 2010). Estos métodos incluyen los esquemas de optimización de varianzas para la mejora de la eficiencia computacional (Rajabalinejad, 2010). La simulación de Monte Carlo es ampliamente considerada como la alternativa más robusta y el método más aplicable para la realización de análisis de confiabilidad en el campo de la ingeniería

(Rajabalinejad, 2010). La principal ventaja es la ausencia de errores sistemáticos durante la realización de las simulaciones; sin embargo, en el caso de modelos complejos se requiere un gran número de corridas y cada ejecución implica un análisis de elementos finitos y otros procedimientos que demandan cantidades ingentes de tiempo (Rajabalinejad, 2010). En contraparte, los métodos de reducción de varianzas suelen ser útiles para la reducción de los costos de simulación (Rajabalinejad, 2010). En tal sentido, Rajabalinejad (2010) propuso un método para acelerar el proceso de simulación y predecir con mayor precisión la respuesta de un modelo (Rajabalinejad, 2010). La implementación de este método se sustenta en la aplicación de una técnica bayesiana que involucra el uso de una función de densidad de probabilidad y un determinado nivel de tolerancia para determinar la precisión de la predicción resultante (Rajabalinejad, 2010). El resultado es la evaluación de información prioritaria conforme avanza la simulación, teniendo en cuenta la proximidad entre los puntos considerados (Rajabalinejad, 2010), lo cual se traduce en una mayor rapidez para la obtención de resultados preliminares de evaluación.

Aunque HRA y las variantes aquí descritas han demostrado su eficacia en las mediciones de desempeño humano, algunos autores reconocen la necesidad de mejorar aún más la base científica de este método. Esto ha dado lugar a una serie de esfuerzos de investigación independientes para reunir datos empíricos, aplicar esquemas de validación y mejorar los modelos teóricos de actuación humana utilizados en HRA (Groth y Mosleh, 2012). En el trabajo realizado por Groth y Mosleh (2012) se presenta una metodología para la cuidadosa combinación de múltiples fuentes de datos empíricos con modelos teóricos validados para mejorar las aplicaciones cualitativas y cuantitativas de HRA. Dichos autores abordan el problema de la existencia de estándares asociados a los principales Factores Influyentes en el Desempeño (PIF, por sus siglas en inglés) y los Factores Reguladores de Desempeño (PSF, por sus siglas en inglés), para los cuales no se había establecido una definición y comparación consistentes bajo diferentes métodos (Groth y Mosleh, 2012). Entre los factores analizados se encuentra el estrés, la capacidad cognitiva, las percepciones, el nivel de autoconfianza, la capacidad de resolución de problemas y la cohesión en el equipo de trabajo; sin embargo, los autores reconocen que algunos de los potenciales factores no estuvieron representados a cabalidad en los datos recolectados y que los diferentes tipos de error (individuales y grupales) no fueron analizados uniformemente a lo largo de la realización del estudio (Groth y Mosleh, 2012).

Frente a las limitaciones propias del método HRA en cuanto a su capacidad para representar la naturaleza no binaria del comportamiento humano y las interacciones casuales entre hombre y máquina, las redes bayesianas simples (BN, por sus siglas en inglés) han sido reconocidas como un marco matemático ideal para la modelación del desempeño humano (Groth y Swiler, 2013). Su efectividad radica en la capacidad para incorporar información cualitativa y cuantitativa proveniente de diversas fuentes y para modelar la interdependencia entre diferentes variables asociadas (Groth y Swiler, 2013). De igual manera, es una herramienta particularmente útil cuando se requiere conocer la confiabilidad de un sistema y sus componentes (Bensi y colegas, 2013). No obstante, los autores reconocen que este aporte es el primer paso hacia el mejoramiento continuado de las variantes del método HRA, las cuales son reconocidas en el ámbito investigativo mas no en el ámbito práctico (Groth y Swiler, 2013). Por tal motivo, Groth y Swiler (2013) han desarrollado una variante del método SPAR-H a partir del uso de redes bayesianas, lo cual dio como resultado un método robusto que permite la retroalimentación involucrando diversas fuentes de información organizacionales. Adicionalmente, Peng-cheng y colegas (2012) propusieron una variante de este modelo (la red bayesiana difusa) para mejorar la cuantificación de las influencias organizacionales en el desempeño humano. En primer lugar, los autores elaboraron un marco conceptual causal para analizar las relaciones entre posibles factores organizacionales y el error humano asociado (Peng-cheng y colegas, 2012). A partir de este marco se procedió a diseñar un modelo de inferencia de probabilidad, involucrando la combinación de todas las potenciales causas (Peng-cheng y colegas, 2012). Sin embargo, dicho estudio no consideró algunos factores que podrían resultar relevantes en un contexto determinado y su robustez y validez puede ser mejorada a través de la aplicación de técnicas complementarias como la simulación para mejorar medidas clave como la incertidumbre probabilística y la imprecisión (Peng-cheng y colegas, 2012).

En particular, la incertidumbre probabilística y la imprecisión en las estimaciones de probabilidades HEP requieren de un manejo adecuado en materia de modelación y cuantificación para la obtención de resultados realistas al momento de realizar predicciones del comportamiento y confiabilidad de los sistemas de ingeniería (Beer y colegas, 2013). Por esta razón, Beer y colegas (2013) han propuesto un marco complementario para el manejo de probabilidades imprecisas, las cuales incluyen información probabilística y no probabilística. En particular, las probabilidades

imprecisas han sido objeto de estudio en lo que respecta a la aplicación de lógica difusa, intervalos de incertidumbre y otros aspectos relacionados (Beer y colegas, 2013). Sin embargo, en la práctica de la ingeniería aún se emplean los métodos probabilísticos tradicionales, aunque acreditan baja precisión y confiabilidad (Beer y colegas, 2013). Esta tendencia se debe a la necesidad de desarrollar algoritmos eficientes y metodologías para su adecuada implementación, (Beer y colegas, 2013) lo cual contribuirá a un mejoramiento de las bases científicas que sustentan los métodos y modelos actuales.

En virtud de lo expuesto, el presente trabajo de investigación está orientado al diseño de una herramienta cuantitativa integral bajo el marco HSEE que permita predecir el desempeño humano, a partir de la influencia de diversidad de factores reportados en la literatura científica. Para tal fin, se propondrá una aproximación metodológica que permita comparar y validar la efectividad de las técnicas y métodos actuales en el contexto organizacional y empresarial colombiano. A partir de los resultados de este proceso de validación, se diseñará una herramienta en la cual concurran las fortalezas más importantes y se eliminen total o parcialmente las deficiencias de las herramientas predecesoras. El desarrollo de este trabajo estará fundamentado en el conocimiento científico desarrollado por autores reconocidos en las áreas de Ergonomía Industrial, Diseño de Experimentos, Optimización, Teoría de la Decisión, Simulación y Procesos Estocásticos. Se espera que esta investigación se constituya en el primer paso para futuros estudios orientados al desarrollo de instrumentos de medición y predicción de desempeño humano en el ámbito empresarial colombiano. En particular, el presente proyecto pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál debe ser el diseño óptimo para una herramienta de medición y predicción de desempeño humano que garantice altos niveles de confiabilidad y precisión?

Otras preguntas secundarias a las que se espera dar respuesta en este estudio son las siguientes:

¿Cuál es el diseño metodológico óptimo para el análisis de variables cuantitativas y cualitativas de desempeño en un equipo de trabajo?

¿Cuál es la validez de las herramientas actualmente empleadas para la medición y predicción de desempeño humano en el contexto empresarial colombiano?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una herramienta cuantitativa orientada a la medición y predicción del desempeño humano en el contexto organizacional y empresarial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar una propuesta metodológica para el análisis y validación de técnicas y métodos orientados a la medición y predicción del desempeño humano.

2. Diseñar y aplicar modelos de confiabilidad, validez y optimización para el análisis de variables cuantitativas y cualitativas que influyen en el desempeño humano.

3. Diseñar e implementar un aplicativo para la simulación, validación y prueba de la herramienta de predicción de desempeño humano.

METODOLOGÍA PROPUESTA

Fase I. Diseño de metodología

En esta fase se realizará un inventario de las herramientas y modelos disponibles en la literatura científica para el diseño de una herramienta robusta de predicción de desempeño de factores humanos. El diseño de la metodología se centrará en la elaboración de un inventario preliminar de variables, factores y elementos a considerar en esta investigación, el diseño de formatos para la recolección de datos, definición inicial de métodos de análisis a emplear, diseño de modelos y algoritmos, lenguajes y aplicaciones a utilizar para su implementación computacional y la formulación de posibles alternativas de manipulación y organización de información según la calidad y oportunidad de los datos a obtener.

Fase II. Recolección de datos y validación de herramientas

La recolección de datos involucrará la participación de empresas colombianas representativas, con las cuales se coordinará la realización del trabajo de campo y la participación de trabajadores en la obtención de datos empíricos. De igual manera, participará un grupo de expertos, cuyos juicios y criterios serán considerados en la aplicación y validación de las herramientas de medición y predicción de desempeño actualmente existentes. La recolección de datos implicará el uso de software especializado (Minitab, PASW 19, Microsoft Excel VBA, E-views, Atlas.ti) para el adecuado diseño de las bases de datos y su posterior procesamiento. La duración de esta fase dependerá del número de empresas involucradas en el estudio y la duración de las sesiones requeridas para la recopilación de la información.

Fase III. Procesamiento de información

El procesamiento de información involucrará la aplicación de minería de datos para el análisis de las variables obtenidas de las fuentes de información y el empleo de técnicas para el establecimiento de numerosos tipos de relaciones entre las diferentes variables y factores. La realización de esta fase requerirá del uso de software especializado (Minitab, PASW 19, Microsoft Excel VBA y E-views).

Fase IV. Modelación, simulación y prueba

En esta fase se implementarán diversidad de técnicas de modelación disponibles en la literatura científica para su validación y la posterior verificación de resultados. Esta fase del trabajo se llevará

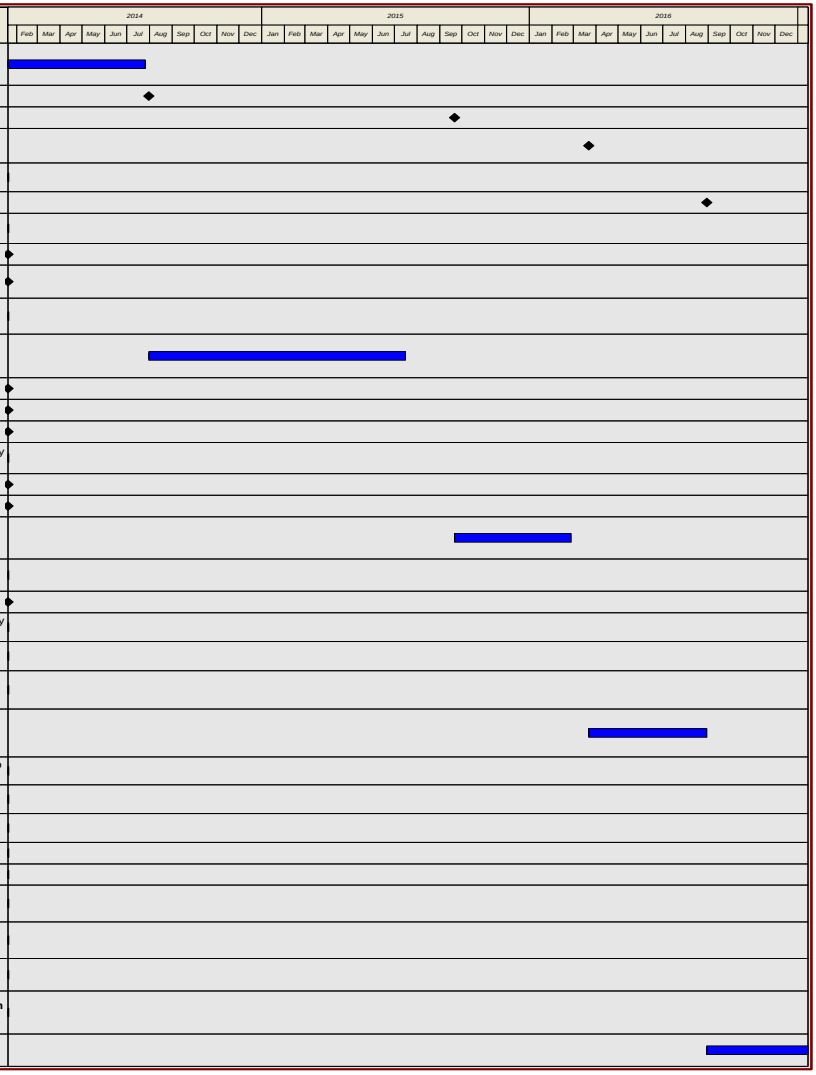
a cabo con el apoyo de asignaturas como Ergonomía Industrial, Diseño de Experimentos, Optimización, Teoría de la Decisión, Simulación y Procesos Estocásticos. La puesta en marcha de esta fase requerirá del empleo de software de simulación (Arena, Microsoft Excel VBA, Bizagi Process Modeler y Bizagi Studio).

Fase V. Diseño de herramienta de predicción de desempeño humano

En esta fase se procederá a delimitar los lineamientos y características propias de la nueva herramienta de predicción de desempeño con base en los resultados obtenidos de los procesos de modelación, simulación y prueba. Esta fase involucrará la validación de resultados obtenidos al hacer uso de la herramienta y su capacidad para representar y predecir el desempeño de un equipo de trabajo.

CRONOGRAMA

Id.	Nombre de tarea
1	**Fase I Diseño de metodología**
2	Realización de inventario de herramientas y métodos.
3	Caracterización y balance de herramientas y métodos.
4	Realización de inventario de variables y factores reportados en la literatura.
5	Diseño de métodos y técnicas de muestreo para selección de empresas involucradas.
6	Diseño de métodos y técnicas de recolección de datos.
7	Diseño de esquemas de validación de fuentes de información cuantitativa y cualitativa.
8	Diseño de formatos de recolección de datos.
9	Formulación de estrategias y métodos de manipulación y organización de datos.
10	Formulación de estrategias, métodos y técnicas de modelación, optimización y predicción para validación, simulación y prueba.
11	**Fase II Recolección de datos y validación de herramientas**
12	Selección y muestreo de empresas para trabajo de campo.
13	Planificación y coordinación de trabajo de campo.
14	Trabajo de campo y recolección de datos.
15	Aplicación de esquemas de validación de información cuantitativa y cualitativa.
16	Validación y consulta con expertos.
17	Creación de bases de datos.
18	**Fase III Procesamiento de información**
19	Diseño e implementación de algoritmos para procesamiento de información.
20	Procesamiento mediante software especializado.
21	Aplicación de esquemas de validación de información cuantitativa y cualitativa.
22	Obtención de inventario de variables mediante métodos y técnicas de minería de datos.
23	Diseño de aplicativos y hojas de cálculo para manejo de variables cuantitativas y cualitativas.
24	**Fase IV Modelación, simulación y prueba**
25	Aplicación de técnicas de modelación estocástica, lógica difusa y/o redes neuronales.
26	Implementación computacional de modelo estocástico, de lógica difusa y/o redes neuronales.
27	Implementación computacional de algoritmos de modelación, simulación y prueba.
28	Validación, simulación y prueba con base en datos empíricos.
29	Validación, simulación y prueba mediante consulta con expertos.
30	Formulación de propuesta de diseño de herramienta cuantitativa para predicción de desempeño humano.
31	Validación, simulación y prueba de diseño de herramienta cuantitativa para predicción de desempeño humano.
32	Formulación de propuesta final para diseño de herramienta cuantitativa para predicción de desempeño humano.
33	**Fase V Diseño e implementación de herramienta de predicción de desempeño humano**
34	Implementación computacional de herramienta de predicción de desempeño humano.



RESULTADOS/PRODUCTOS ESPERADOS

Los productos derivados de esta investigación son:

a) Metodología para el estudio y análisis integral de factores asociados al desempeño humano en el contexto organizacional o empresarial.
b) Bases de datos para la continuidad futura de estudios de esta índole.
c) Modelo integral de lógica difusa estocástica para la predicción de desempeño humano y variables asociadas.
d) Herramienta robusta para la predicción de desempeño de equipos de trabajo.
e) Aplicación programada de la herramienta.
f) Artículos derivados del trabajo de campo y de los resultados de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Agrawal, V. (2012). Managing the diversified team: challenges and strategies for improving performance. *Team Performance Management*, *18*(7/8), 384-400.

Azadeh, A., Rouzbahman, M., Saberi, M., Valianpour, F., & Keramati, A. (2013). Improved prediction of mental workload versus HSE and ergonomics factors by an adaptive intelligent algorithm. *Safety Science*, *58*, 59-75.

Azadeh, A., Saberi, M., Rouzbahman, M., & Saberi, Z. (2012). An intelligent algorithm for performance evaluation of job stress and HSE factors in petrochemical plants with noise and uncertainty. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.

Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M., & Nikafrouz, M. (2008). Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery. *Information Sciences*, *178*(22), 4280-4300.

Bedford, T., Bayley, C., & Revie, M. (2013). Screening, sensitivity, and uncertainty for the CREAM method of Human Reliability Analysis. *Reliability Engineering & System Safety*.

Beer, M., Ferson, S., & Kreinovich, V. (2013). Imprecise probabilities in engineering analyses. *Mechanical Systems and Signal Processing*.

Bensi, M., Kiureghian, A. D., & Straub, D. (2012). Efficient Bayesian network modeling of systems. *Reliability Engineering & System Safety*.

Berthelette, D., Leduc, N., Bilodeau, H., Durand, M. J., & Faye, C. (2012). Evaluation of the implementation fidelity of an ergonomic training program designed to prevent back pain. *Applied Ergonomics*, *43*(1), 239-245.

Bhat, A. B., Verma, N., Rangnekar, S., & Barua, M. K. (2012). Leadership style and team processes as predictors of organisational learning. *Team Performance Management*, *18*(7/8), 347-369.

Bradley, B. H., Klotz, A. C., Postlethwaite, B. E., & Brown, K. G. (2013). Ready to rumble: How team personality composition and task conflict interact to improve performance. *Journal of Applied Psychology*, *98*(2), 385.

Cruz-Ortiz, V., Salanova, M., & Martinez, I. M. (2013). Liderazgo transformacional y desempeno grupal: unidos por el engagement grupalTransformational leadership and team performance: Linked by teamwork engagement. *Revista de Psicología Social*, *28*(2), 183-196.

Groth, K. M., & Mosleh, A. (2012). A data-informed PIF hierarchy for model-based human reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*.

Groth, K. M., & Swiler, L. P. (2013). Bridging the gap between HRA research and HRA practice: A Bayesian network version of SPAR-H. *Reliability Engineering & System Safety*.

Hsiao, Y. L., Drury, C., Wu, C., & Paquet, V. (2012). Predictive models of safety based on audit findings: Part 1: Model development and reliability.*Applied Ergonomics*.

Ibrahim, K. I., Costello, S. B., & Wilkinson, S. (2013). Key Practice Indicators of Team Integration in Construction Projects: A Review. *Team Performance Management*, *19*(3/4), 1-1.

Jaca, C., Viles, E., Tanco, M., Mateo, R., & Santos, J. (2013). Teamwork effectiveness factors in healthcare and manufacturing industries. *Team Performance Management*, *19*(3/4), 222-236.

John, B. E., Patton, E. W., Gray, W. D., & Morrison, D. F. (2012, September). Tools for Predicting the Duration and Variability of Skilled Performance without Skilled Performers. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 56, No. 1, pp. 985-989). SAGE Publications.

Korunka, C., Dudak, E., Molnar, M., & Hoonakker, P. (2010). Predictors of a successful implementation of an ergonomic training program. *Applied ergonomics*, *42*(1), 98-105.

Lee, P. K., To, W. M., & Yu, B. T. (2013). Team attributes and performance of operational service teams: An empirical taxonomy development. *International Journal of Production Economics*, *142*(1), 51-60.

Li, P. C., Chen, G. H., Dai, L. C., & Zhang, L. (2012). A fuzzy Bayesian network approach to improve the quantification of organizational influences in HRA frameworks. *Safety Science*, *50*(7), 1569-1583.

Phipps, D. L., Meakin, G. H., & Beatty, P. C. (2011). Extending hierarchical task analysis to identify cognitive demands and information design requirements. *Applied ergonomics*, *42*(5), 741-748.

Podofillini, L., & Dang, V. N. (2013). A Bayesian Approach to Treat Expert-Elicited Probabilities in Human Reliability Analysis Model Construction.*Reliability Engineering & System Safety*.

Querelle, L., Duwelz, M., Beaujouan, J., & Pignault, A. (2012). Active participation in preventionist professional practices: a specific ergonomics training course. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, *41*, 5189-5195.

Rajabalinejad, M. (2010). Bayesian Monte Carlo method. *Reliability Engineering & System Safety*, *95*(10), 1050-1060.

Rutti, R. M., Ramsey, J. R., & Li, C. (2012). The role of other orientation in team selection and anticipated performance. *Team Performance Management*,*18*(1/2), 41-58.

Santos, C. M., & Passos, A. M. (2013). Team mental models, relationship conflict and effectiveness over time. *Team Performance Management*, *19*(7/8), 5-5.

Sun, Z., Li, Z., Gong, E., & Xie, H. (2012). Estimating human error probability using a modified CREAM. *Reliability Engineering & System Safety*, *100*, 28-32.

Yuan, L. (2012). Reducing Ergonomic Injuries for Librarians Using a Participatory Approach. *Advances in Usability Evaluation*, *20*, 161.

View publication stats